

Anàlisi de la sobreestimació de la temperatura diürna a les estacions de l'antiga XMET (1995-2007)

Autor: Marc Noguera Gordo

Supervisors: Bernat Codina Sánchez (bernat.codina@ub.edu) i Aleix Serra Uró (aleix.serra@gencat.cat)

Facultat de Física, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès 1, 08028 Barcelona, Spain.*

Abstract: Les dades registrades per les estacions de l'antiga XMET (1995-2007) presenten una sobreestimació de la temperatura degut a l'ús d'un abric tèrmic inadequat. L'any 2007 es va procedir a canviar-lo per tal de millorar la qualitat de les seves dades. Aquesta actuació va suposar un punt de ruptura important per a moltes sèries de temperatura, especialment la diürna. Per mitjà d'aquest estudi s'ha pogut constatar que més del 73% de les estacions XMET presenten una discontinuïtat en la seva sèrie de temperatura màxima associat al canvi d'abric tèrmic. En menor mesura, aquesta sobreestimació també afecta als valors de temperatura nocturna. En el cas de l'estació meteorològica Fabra XMET, s'ha determinat que més del 50% dels dies pertanyents al període previ a la migració, la sobreestimació de la temperatura diürna és igual o superior als 3°C. Fins i tot, en dies de cel serè, vent en calma i forta irradiació solar global, el grau de discrepància arriba a ser molt més gran.

I INTRODUCCIÓ

L'any 1995 es van començar a instal·lar les estacions meteorològiques automàtiques que formarien part de la XMET (Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques), creada per l'embrió de l'actual Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) amb l'objectiu d'obtenir i registrar dades d'arreu de Catalunya i millorar el coneixement climàtic del territori. L'antiga XMET estava constituïda per un conjunt de 59 estacions, 46 de les quals van patir un canvi d'abric tèrmic a mitjans de l'any 2007, mentre que la resta van ser desmantellades prèviament.

Aquesta migració suposa un punt de ruptura important per la sèrie de temperatura de moltes estacions, sobretot la diürna. El motiu d'aquesta inhomogeneïtat és l'ús d'un abric tèrmic inadequat, que interferia en la mesura de la temperatura i causava una important sobreestimació. És per això que l'objectiu principal d'aquest estudi és analitzar, avaluar i caracteritzar la sobreestimació de la temperatura diürna a les estacions de l'antiga XMET (1995-2007).

Per dur-ho a terme, s'ha fet ús de les dades d'altres estacions meteorològiques properes o climàticament molt semblants a les de la XMET, que hagin estat operatives abans i després de la migració i que no hagin experimentat cap canvi d'abric tèrmic. Concretament, és el cas de la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya (XAC) i la Xarxa Nivològica de Catalunya (XANIC) que, a partir de la Llei de Meteorologia, de l'any 2001, han estat gestionades per l'SMC tot i provenir d'altres institucions o Departaments de la Generalitat de Catalunya (SMC 2011). També s'han fet servir les dades de diverses estacions manuals de referència.

L'abric tèrmic, altrament conegut amb el terme de garita o protector solar, és l'encarregat de protegir els sensors de temperatura i humitat relativa de la radiació solar, així com dels efectes de la pluja, la neu o el vent. L'abric no només protegeix de dia, sinó que també ho fa durant la nit, minimitzant les pèrdues de radiació infraroja (IR) del sensor.

Tal i com estableix l'Organització Meteorològica Mundial (OMM), per tal de mesurar la temperatura de l'aire en superfície, el termòmetre s'ha d'ubicar a una alçada d'entre

1,25 m i 2 m sobre el nivell del terra i en un punt que sigui representatiu d'una àrea extensa. A més a més, cal garantir una distància mínima de 30 m respecte a qualsevol font de calor i/o construcció artificial que pugui alterar-ne la mesura: edificis, terrenys asfaltats, vegetació...

El canvi d'abric tèrmic va anar acompanyat d'una substitució de sensors així com d'enregistrador, que és el dispositiu encarregat d'adquirir, processar, emmagatzemar i transmetre les dades. Aquesta actuació va ser cabdal per tal de solucionar el problema de la sobreestimació de la temperatura diürna i donar continuïtat a les respectives sèries de dades. Actualment, moltes de les estacions XMET segueixen estant operatives, i ja tenen d'entre 15 a 25 anys de dades.

Des de l'1 d'octubre del 2007, totes les estacions meteorològiques que gestiona l'SMC estan sotmeses a un exhaustiu control de qualitat diari, agrupant les estacions de diferent procedència (XMET, XAC, XANIC), en una mateixa base de dades. Prèviament al 2007 també s'efectuava un procés de validació de les dades, però en cap cas es va abordar el problema de la sobreestimació.

Les dades que registren les estacions meteorològiques (tant les manuals com les automàtiques) són imprescindibles per tal de millorar el coneixement del clima. Malauradament, hi ha múltiples factors que poden donar lloc a una inhomogeneïtat, especialment en les sèries de dades més llargues. És per aquest motiu que, abans de realitzar qualsevol estudi climàtic, cal garantir que la sèrie en qüestió sigui homogènia (Peterson et al 1998) i que aquesta hagi estat sotmesa a diversos processos de control de qualitat.

Aquest treball té per objectiu avaluar l'impacte que ha tingut el canvi d'abric en la temperatura màxima de cadascuna de les 46 estacions XMET. S'han identificat els punts de ruptura de les respectives sèries i, també, s'ha caracteritzat aquesta sobreestimació a partir de les dades de l'Observatori Fabra, on tenim dues estacions que mesuren dades simultàniament: Fabra XMET i l'estació centenària del Fabra (Fabra manual). Aquesta última, emprada com a estació control o de referència.

* Adreça electrònica: marcnoquera94@gmail.com

II DADES I METODOLOGIA

A. Mesura de la temperatura

Des d'un punt de vista de l'observació meteorològica, l'objectiu és conèixer la temperatura de l'aire, però sovint no esdevé una tasca fàcil. El termòmetre, que és l'instrument que es fa servir per mesurar-la, cal que estigui en equilibri tèrmic amb l'aire del seu entorn. Però l'absorció i emissió de radiació infraroja i l'absorció de radiació solar pel sensor tèrmic poden pertorbar la mesura. En aquest sentit, la finalitat és determinar la temperatura de l'aire, no la del termòmetre que pot ser força diferent a la de l'aire.

A nivell d'instrumentació, hi ha diferents tipus de termòmetres. Els clàssics estan basats en la dilatació d'un líquid o metall, però les estacions meteorològiques automàtiques fan servir els de tipus electrònic, aprofitant l'avinentsa que la resistència elèctrica d'un conductor varia amb la temperatura. El metall termomètric per excel·lència és el platí (Pt) i obeeix a la següent llei lineal en un rang molt ampli de temperatures, $-80^{\circ}\text{C} < T < 60^{\circ}\text{C}$:

$$R = R_0 (1 + \alpha (T - T_0)) \quad (1)$$

On R és el valor de la resistència de platí per a una temperatura T , R_0 és el valor de la resistència a 0°C i α és una constant ben coneguda (WMO 2018).

Les resistències de platí presenten l'avantatge que la deriva amb el temps és mínima, i això fa que sigui el millor tipus de sensor per a mesurar la temperatura. En el cas de les estacions de l'SMC, totes elles fan servir resistències Pt100 ($R_0 = 100 \Omega$, a 0°C).

La precisió que s'exigeix a l'hora de mesurar-la és de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ per $T > 0^{\circ}\text{C}$ i de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ per $T < 0^{\circ}\text{C}$, amb una constant de temps de 30 s.

B. Abrics tèrmics emprats

L'abric tèrmic és un element del tot imprescindible per tal de protegir els sensors de temperatura i humitat relativa de qualsevol tipus de radiació (bé sigui en ona curta o en ona llarga), de la precipitació, així com dels efectes derivats de l'acció del vent (com ara l'impacte d'objectes propers). De fet, gràcies a l'abric es pot mesurar la temperatura real de l'aire, però per això cal garantir una bona recirculació al seu interior.

La major part de les estacions de la XMET feien servir un abric tèrmic de l'empresa MCV, compostat per 7 platets metàl·lics. Aquests tenien un diàmetre de cassoleta de 68 mm i una alçada de 128 mm. En la seva part inferior, hi duïen annexat un suport que cobria bona part de la superfície, la qual cosa dificultava una òptima circulació de l'aire.

El sensor de temperatura més habitual era el MCV STA-01, que bàsicament era una sonda Pt100 normalitzada i amb un comportament lineal per valors d'entre -40°C a 60°C .

A 5 de les 59 estacions XMET, se'ls hi va aplicar un sensor i abric tèrmic de la marca Thies, provinents de l'empresa ADASA. Aquest abric era completament metàl·lic i no estava format per platets. Només podia ventilar pels extrems superior i inferior, però no pels laterals.

A partir de l'any 2001 es va tenir ple coneixement que, en certes situacions meteorològiques, les estacions de la XMET no mesuraven correctament la temperatura de l'aire. Es va

identificar que el problema provenia dels abrics tèrmics, i per això es va començar a dissenyar experiments amb una garita de fusta clàssica i una garita de plàstic de la marca SOCRIMA, que és la que aleshores feien servir a *Météo-France*. L'objectiu era observar les diferències en la mesura de la temperatura pels diferents tipus de protectors emprats i valorar altres aspectes relacionats amb el manteniment d'aquests.

Durant l'any 2001 es va optar per introduir un nou tipus d'abric tèrmic a les estacions XMET de nova incorporació. Més concretament, es tractava d'un abric de la marca YOUNG, model 43408, amb ventilació forçada artificialment. Paral·lelament, es va decidir canviar els 5 protectors de la marca Thies (esmentats anteriorment) per l'abric de platets MCV o bé per una gàbia de fusta.

Aquesta no va ser l'única actuació que es va dur a terme des d'un punt de vista instrumental. A partir de l'any 2001, es va procedir a canviar alguns sensors de MCV STA-01, pels Rotronic 106 AT7, però només es feia en cas de mal funcionament, sense fer cap canvi d'abric tèrmic. Únicament, era de sensors.

L'any 2003 es va plantejar la necessitat de convertir els enregistadors MCV EM 100 i MCV EM 200, en mòduls del tipus MCV EM 300, per tal de complir amb la UNE500520:200 (UNE 2002). Això va permetre, entre d'altres coses, triar la resolució del buidatge de dades pels valors de temperatura, ja sigui en freqüència 10-minutal o 30-minutal.

L'any 2004 es va aconseguir una partida pressupostària per adquirir un conjunt de gàbies de fusta de tipus Stevenson, amb l'objectiu de protegir els sensors de temperatura i humitat relativa i minimitzar els efectes de la sobreestimació. Entre els anys 2004 i 2006 es van anar substituint alguns dels abrics de platets de MCV per les gàbies Stevenson pressupostades, a banda de simplificar el sistema de cablejat de diverses estacions, per així ajustar-se a la normativa vigent.

A finals del 2006 es va iniciar el procés d'unificació de les diferents xarxes d'estacions que gestiona l'SMC: XMET, XAC i XANIC, de manera que durant els mesos següents es va procedir a canviar l'enregistador MCV EM 300 pel de Campbell CR1000. Aquesta actuació va anar acompanyada del canvi d'abric tèrmic a totes les estacions de la XMET, entre el març i l'agost del 2007. Concretament, es va fer ús del model DTR503(A), de l'empresa Vaisala.

Actualment, el nou abric tèrmic té unes dimensions força més grans que l'anterior de MCV, amb una alçada de 266 mm, un diàmetre de cassoleta de 105 mm i compostat per un total de 12 platets. Ambdós abrics tèrmics tenen en comú que la superfície exterior de les cassoletes és de color blanc per tal de reflectir la radiació incident, però estan fets de materials diferents: els abrics de platets de MCV eren metàl·lics, mentre que els de Campbell són de plàstic. En aquest sentit, hi ha nombrosos estudis que analitzen l'impacte dels diferents tipus de garita meteorològica emprada (fusta, plàstic, platets) a l'hora de mesurar la temperatura de l'aire (Bañón et al 2008, Ibarra et al 2010, SMC 2019), però en cap cas fan esment als de tipus metàl·lic, com ara els de MCV o els de la marca Thies.

En resum, es pot observar que entre els anys 2001 i 2006 algunes estacions de la XMET van ser sotmeses a una sèrie d'actuacions per tal de solucionar la sobreestimació. Malgrat això, no va ser fins l'any 2007 quan totes les estacions XMET van migrar cap a Campbell, posant punt i final al problema de la sobreestimació de la temperatura.

C. Àrea d'estudi

En aquesta memòria s'han analitzat les dades de temperatura màxima i mínima diària de les 46 estacions XMET, que entre els mesos de març i agost de l'any 2007 van patir el canvi d'abric tèrmic. La Figura 1 mostra la distribució geogràfica d'aquestes estacions. En general, es troben repartides homogèniament arreu del territori, per bé que en alguns sectors de ponent, així com del Vallès Oriental, Vallès Occidental, nord del Maresme i la Selva, s'hi observa una menor cobertura. Justament és en aquests indrets on es trobaven algunes de les estacions que van ser desmantellades abans de la migració, com és el cas de Torres de Segre, Montmeló o Santa Coloma de Farners (Taula I annex)

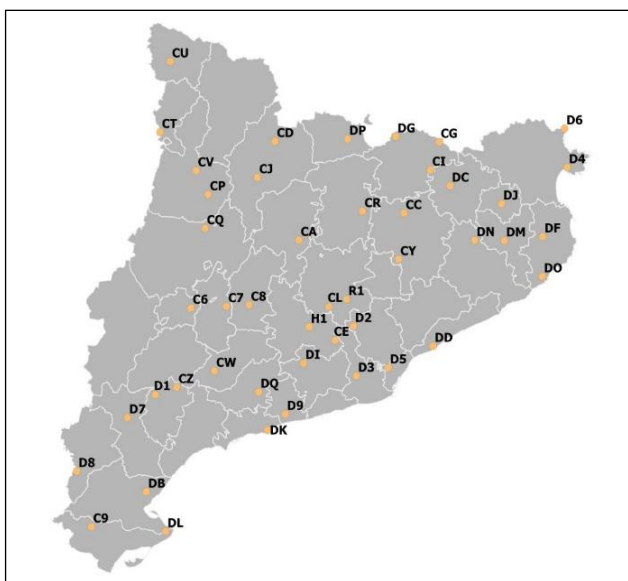


FIG. 1: Ubicació i codi d'identificació de cadascuna de les 46 estacions XMET.

D. Detecció d'inhomogeneïtats

Una inhomogeneïtat és un canvi en el comportament d'una determinada variable meteorològica degut a un factor extern al propi sistema que es vol estudiar. A diferència d'un error puntual, una inhomogeneïtat es perpetua en el temps. Hi ha diversos factors que poden originar un punt de ruptura en una sèrie de dades. Normalment està relacionat amb un canvi d'emplaçament de l'estació, un canvi de sensor, una modificació de l'entorn, problemes de deriva o diferències en la forma d'adquirir les dades: dia civil/dia pluviomètric, o sistemes diferents de càlcul d'estadístics (Cuadrat et al 2013).

En aquest sentit, un dels aspectes més rellevants del present estudi és determinar l'impacte que va tenir el canvi d'abric tèrmic en les sèries de temperatura màxima i mínima diària de cadascuna de les 46 estacions XMET. Per dur-ho a terme s'ha fet ús d'un programari anomenat *Acmant* (*Adapted Caussinus-Mestre Algorithm for Networks of Temperature Series*), que és un mètode automàtic de detecció de punts de ruptura i homogeneïtzació de sèries de dades. El seu origen es remunta al projecte *European COST ES061 project "HOME"* (Domonkos 2011) i, actualment, és una de les eines més

potents de què disposen els diferents serveis i agències de meteorologia a l'hora d'analitzar sèries de dades.

El motiu principal pel qual s'ha optat fer ús d'aquest programari és perquè dona millors resultats que el *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT), (Toreti et al 2011, Domonkos 2020).

L'*Acmant* permet treballar en diferents escales temporals, segons el que convingui més en cada moment. En el cas d'aquest estudi, la detecció dels punts de ruptura s'ha dut a terme en base diària.

El procés de detecció d'inhomogeneïtats es basa en l'ús de les dades de temperatura màxima/mínima diària d'un grup o conjunt d'estacions (metadades), així com en l'aplicació de mètodes estadístics. Més concretament, l'*Acmant* desglossa el conjunt de valors d'una determinada variable d'una sèrie (X_i) en 3 components diferents: un senyal climàtic regional (U_i), un efecte d'estació (V_i) i errors de caràcter observacional (\mathcal{E}_i).

$$X_i = U_i + V_i + \mathcal{E}_i \quad (2)$$

El senyal climàtic és comú per a totes les sèries que formen part d'un grup d'estacions. En canvi, l'efecte d'estació varia en cada cas. Si es manté constant en el temps, la sèrie és homogènia. Altrament, vol dir que hi ha una discontinuïtat.

A partir de les metadades es comparen les diferents parelles d'estacions, tot determinant el nombre i la posició dels possibles punts de ruptura (detecció bivariada).

Seguidament, l'*Acmant* fa servir dues variants d'un model d'anàlisi de variància. Això permet contrastar i verificar els resultats obtinguts anteriorment (Domonkos 2020).

Així doncs, cada vegada que es volen detectar les inhomogeneïtats d'una sèrie concreta, cal elaborar un grup específic d'estacions. L'*Acmant* recomana que aquests grups siguin d'un mínim de 4 sèries de manera que per a cada estació "problemàtica" hi hagi 3 o més sèries de referència.

L'alta densitat d'estacions meteorològiques de l'SMC, fa que sigui relativament fàcil trobar una o més sèries de referència per a cada estació de la XMET. Sovint, s'han fet servir les dades de les estacions de la XAC i la XANIC, ja que el seu origen és diferent a les de la XMET i no presenten el problema del canvi d'abric tèrmic. A més a més, cal destacar que les seves dades han estat sotmeses a diversos processos de control de qualitat.

També s'ha hagut de recórrer a les dades de diverses sèries manuals de referència, ja que no sempre era possible trobar suficients estacions de la XAC o la XANIC que siguin properes. Això ha passat, sobretot, en algunes estacions XMET del Pirineu, com ara Das, la Seu d'Urgell, el Pont de Suert o Vielha, però també en d'altres estacions situades a la franja litoral: Castell d'Aro, Torredembarra, Roses o Portbou.

Un cop elaborats els 46 grups d'estacions (Taula II annex), s'ha procedit a extreure els fitxers de temperatura màxima i mínima diària de l'històric de cada estació, a través de la base de dades que gestiona l'SMC. Després d'adequar tots els fitxers segons el format requerit pel programa, simplement cal executar el programari, introduir els paràmetres necessaris i analitzar els arxius de sortida.

Aquest procediment s'ha repetit 2 vegades per a cada grup d'estacions (92 execucions en total), ja que les sèries de temperatura màxima (T_x) i mínima (T_n) s'avaluen i es tracten per separat.

III RESULTATS

A. Avaluació de les inhomogeneïtats

A partir dels fitxers de dades obtinguts amb l'Acman, s'han identificat les inhomogeneïtats de les sèries de temperatura màxima i mínima diària de cada estació XMET. La sèrie de Girona no ha pogut ser tractada amb l'Acman, perquè no disposa de prou anys de dades (<10 anys). Per tant, en total són 45 les estacions XMET analitzades.

El següent pas ha estat avaluar les inhomogeneïtats i determinar el seu origen. Primer de tot, s'han localitzat les dates dels diferents punts de ruptura i, després, s'ha comprovat que encaixin amb el període de migració.

En alguns casos, el punt de ruptura coincideix perfectament amb el canvi d'abric tèrmic, però en d'altres casos la sobreestimació es detecta força abans. Cal tenir en compte que diverses estacions van ser sotmeses a un seguit d'actuacions, per tal de minimitzar els efectes de la sobreestimació, la qual cosa explicaria aquestes ruptures prèvies a l'estiu del 2007. Això posa de manifest la importància de fer servir les metadades.

Per la sèrie de temperatura màxima s'ha obtingut que 33 de les 45 estacions XMET presenten una inhomogeneïtat associada a una sobreestimació de la temperatura diürna (veure Figura 2). És a dir, que les màximes assolides abans de la discontinuïtat eren, en conjunt, molt més altes del que correspondria.

Hi ha un total de 12 estacions que no presenten cap punt de ruptura, però no necessàriament vol dir que es mantinguin alienes al problema de la sobreestimació. És possible que algunes d'elles sobreestimessin de forma discreta i que l'Acman no ho acabi detectant.

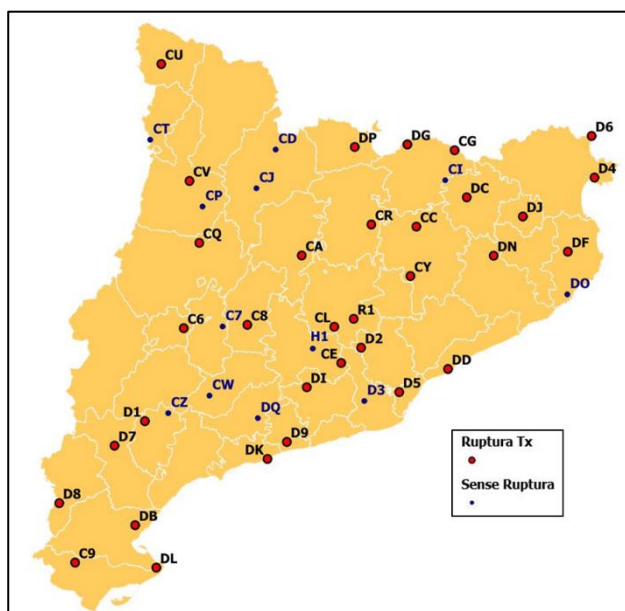


FIG. 2: En vermell, les estacions que presenten un punt de ruptura associat a una sobreestimació de la temperatura diürna. En blau, les estacions que no presenten ruptura.

D'altra banda, també s'ha volgut comprovar què succeeix amb els valors de temperatura mínima. En aquest cas, s'observa que 19 de les 45 estacions XMET presenten una

inhomogeneïtat associada a una sobreestimació de la temperatura nocturna (veure Figura 3). És a dir, que les mínimes prèvies al punt de ruptura també eren, en conjunt, molt més elevades.

Per bé que aquest estudi es focalitza en l'anàlisi de la sobreestimació de la temperatura diürna, cal tenir present que aquest problema es fa extensiu als valors de temperatura nocturna.

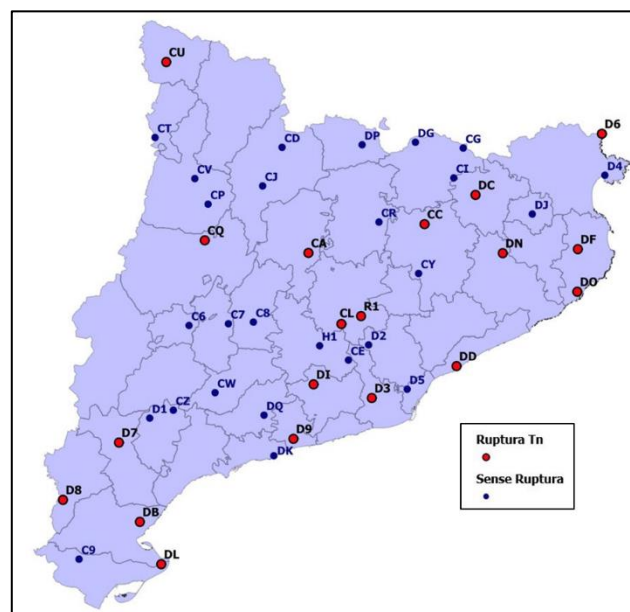


FIG. 3: En vermell, les estacions que presenten un punt de ruptura associat a una sobreestimació de la temperatura nocturna. En blau, les estacions que no presenten ruptura.

B. Diferències entre Fabra XMET i Fabra manual

L'Observatori Fabra presenta la singularitat de tenir dues estacions meteorològiques mesurant dades simultàniament en un mateix punt. Una és l'estació centenària del Fabra, que des de principis del segle XX, i de forma ininterrompuda, registra dades manualment. D'altra banda, a finals del 1995 es va instal·lar l'estació Fabra XMET, per tal d'obtenir registres automàtics del mateix emplaçament.

Comparant ambdues sèries es pot determinar el grau de discrepància en la mesura de la temperatura. Idealment, les diferències haurien de ser mínimes, ja que totes dues estacions estan mesurant les mateixes condicions atmosfèriques. A la pràctica, l'estació Fabra XMET té el problema de la sobreestimació de la temperatura, de manera que les diferències amb l'estació Fabra manual poden arribar a ser molt grans.

La Figura 4 mostra la diferència de temperatura màxima diària entre Fabra XMET i Fabra manual, pel període 1996-2019. Fins l'any 2007, la immensa majoria dels dies hi havia una diferència positiva, la qual cosa vol dir que les màximes registrades per l'estació Fabra XMET eren més altes que les registrades per l'estació Fabra manual. En alguns casos, la discrepància era de més de 8°C! I sovint, se situava entre 4/6°C per sobre de l'estació manual.

A l'octubre de 2001 i setembre de 2004, es van dur a terme una sèrie d'actuacions per tal de minimitzar el grau de la sobreestimació. Aquestes dues dates, juntament amb la de

l'agost de 2007, són els 3 punts de ruptura que s'han detectat amb l'Acmant per la sèrie Fabra XMET.

Per bé que a finals de l'any 2001 s'observa una certa millora, el cert és que el problema va seguir present fins que no es va instal·lar l'actual abric tèrmic, el dia 1 d'agost del 2007. A partir de llavors, s'observa un canvi dràstic en el comportament de la sèrie. Disminueix sobtadament el grau de discrepància entre ambdues estacions i la diferència de temperatura tendeix a zero. És a dir, que tal i com era d'esperar, totes dues sèries registren valors molt semblants.

A la Figura 5 hi ha representada l'evolució de la temperatura màxima diària de les estacions Fabra XMET (en

vermell) i Fabra manual (en blau) corresponent a l'any 2007. De l'1 de gener fins el 31 de juliol es distingeix molt bé l'evolució de cadascuna de les dues sèries. Durant aquest període de temps, el traçat de color vermell està per sobre del traçat de color blau, el que ens indica que l'estació de la XMET registrava valors més alts de temperatura màxima. En aquest sentit, i tal i com està documentat en d'altres estudis, també caldria considerar l'efecte d'inèrcia tèrmica associada a l'abric tèrmic (Ibarra et al 2010). Coincidint amb la data de la migració, es trenca la dinàmica anterior i costa molt distingir una sèrie de l'altra.

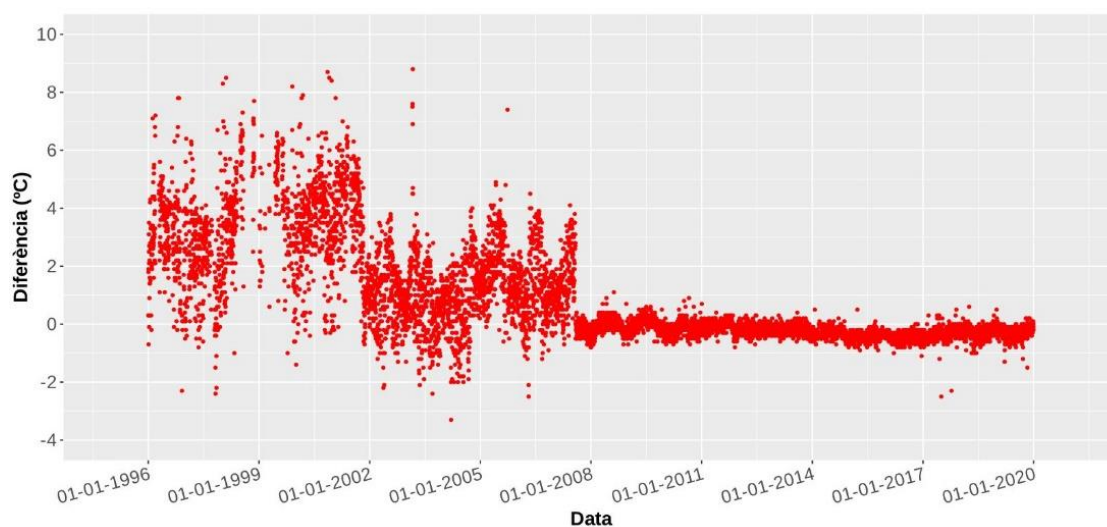


FIG. 4: Diferència de temperatura màxima diària (°C) entre l'estació Fabra XMET i Fabra manual pel període 1996-2019.

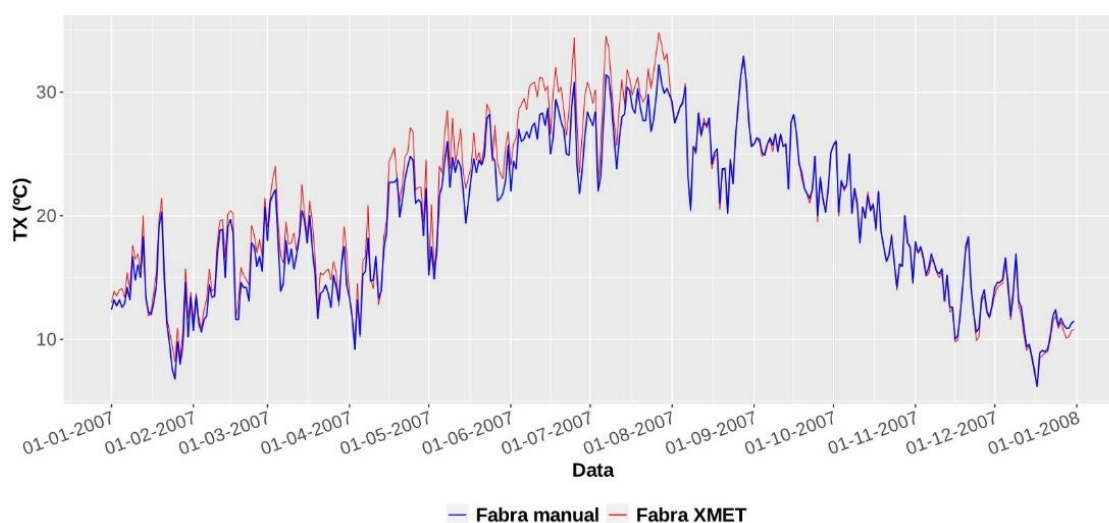


FIG. 5: Evolució de la temperatura màxima diària corresponent a l'any 2007, per les estacions Fabra XMET (en vermell) i Fabra manual (en blau).

C. Sobreestimació de la temperatura diürna en funció de la irradiació solar global diària

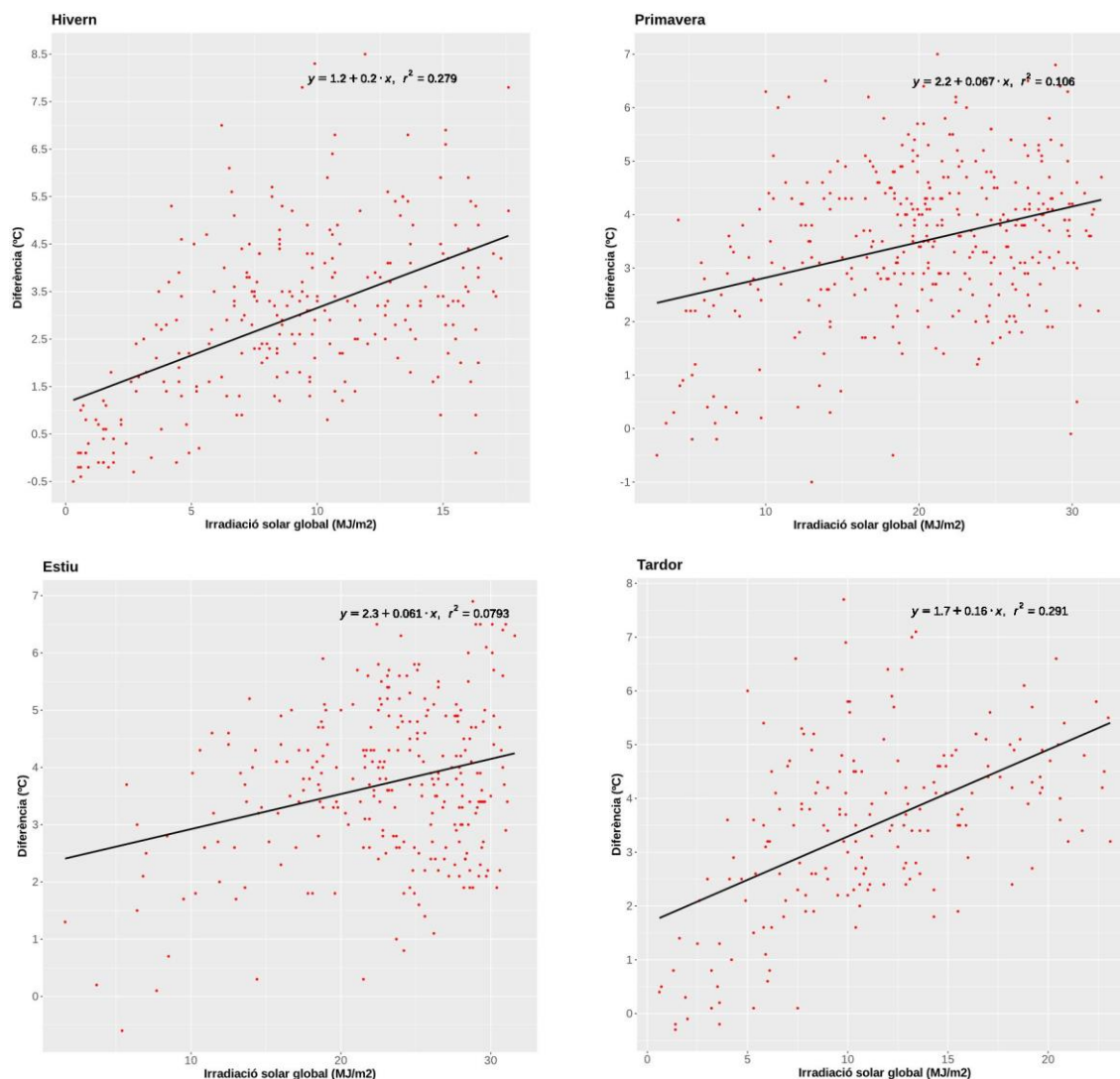


FIG. 6: Diagrama de dispersió corresponent a la diferència de temperatura màxima (Fabra XMET – Fabra manual) i la irradiació solar global diària per les diferents estacions de l'any: hivern (desembre, gener i febrer), primavera (març, abril i maig), estiu (juny, juliol i agost) i tardor (setembre, octubre i novembre). Període d'estudi: 1996-2001.

La sobreestimació de la temperatura diürna no sempre es manifesta amb la mateixa intensitat. En presència de dies de cel serè, elevada irradiància solar global i vent feble, és quan més se sobreescalfa l'aire que hi ha dins de l'abric tèrmic. Per aquest motiu convé garantir una bona recirculació de l'aire a l'interior de la garita, i així evitar la problemàtica que se'n deriva.

L'estació Fabra XMET registra dades en freqüència semi horària. En canvi, l'estació Fabra manual es compon bàsicament de valors màxims i mínims diaris, així com de precipitació acumulada en 24h. Això impedeix analitzar les dades de període, és a dir, no permet observar evolucions a escala horària. Partint d'aquesta limitació, s'ha volgut determinar quin és el grau de correlació entre la diferència de temperatura màxima diària (Fabra XMET – Fabra manual) i la irradiació solar global diària (mesurada per l'estació automàtica Fabra XMET), pel període d'estudi 1996-2001.

No s'ha tingut en compte tot el període premigració (1996-2007), ja que a l'octubre de 2001 i setembre de 2004 es van dur a terme diverses actuacions a l'estació Fabra XMET per tal de minimitzar els efectes de la sobreestimació.

Per tant, a l'hora de caracteritzar la sobreestimació de la temperatura diürna, només s'ha tingut en compte el primer tram homogeni del període premigració (1996-2001). L'objectiu és observar la magnitud real del problema, sense tenir en compte els efectes de les mesures adoptades per tal de minimitzar-lo.

Els resultats, desglossats per les diferents estacions de l'any, mostren que hi ha una certa correlació entre la sobreestimació de la temperatura diürna i la irradiació solar global. En tots els casos, la recta de regressió lineal té un pendent positiu (veure Figura 6).

Curiosament, la tardor i l'hivern són les dues estacions de l'any amb una correlació més notable ($R^2 = 0.291$ i $R^2 = 0.279$), mentre que a la primavera, però sobretot a l'estiu, s'afebleix

de forma considerable ($R^2=0,106$ i $R^2=0,0793$, respectivament).

D'entrada poden semblar correlacions molt baixes, però cal tenir present que la sobreestimació de temperatura depèn de diversos factors alhora, com ara la irradiància solar global o la intensitat del vent. En aquest sentit, és perfectament possible tenir dies ventosos, amb molta irradiació solar global diària, però amb poca sobreestimació de la temperatura diürna. D'altra banda, un dia de ple hivern amb cel serè i vent en calma, pot donar lloc a grans sobreestimacions de la temperatura, tot i que els valors d'irradiació solar global siguin ben baixos (solstici d'hivern).

D. Sobreestimació de la temperatura diürna en funció de la velocitat del vent mitjana diària

La Figura 7 mostra la correlació entre la diferència de temperatura màxima diària (Fabra XMET – Fabra manual) i la velocitat del vent mitjana diària (mesurada per l'estació automàtica Fabra XMET), pel període d'estudi 1996-2001.

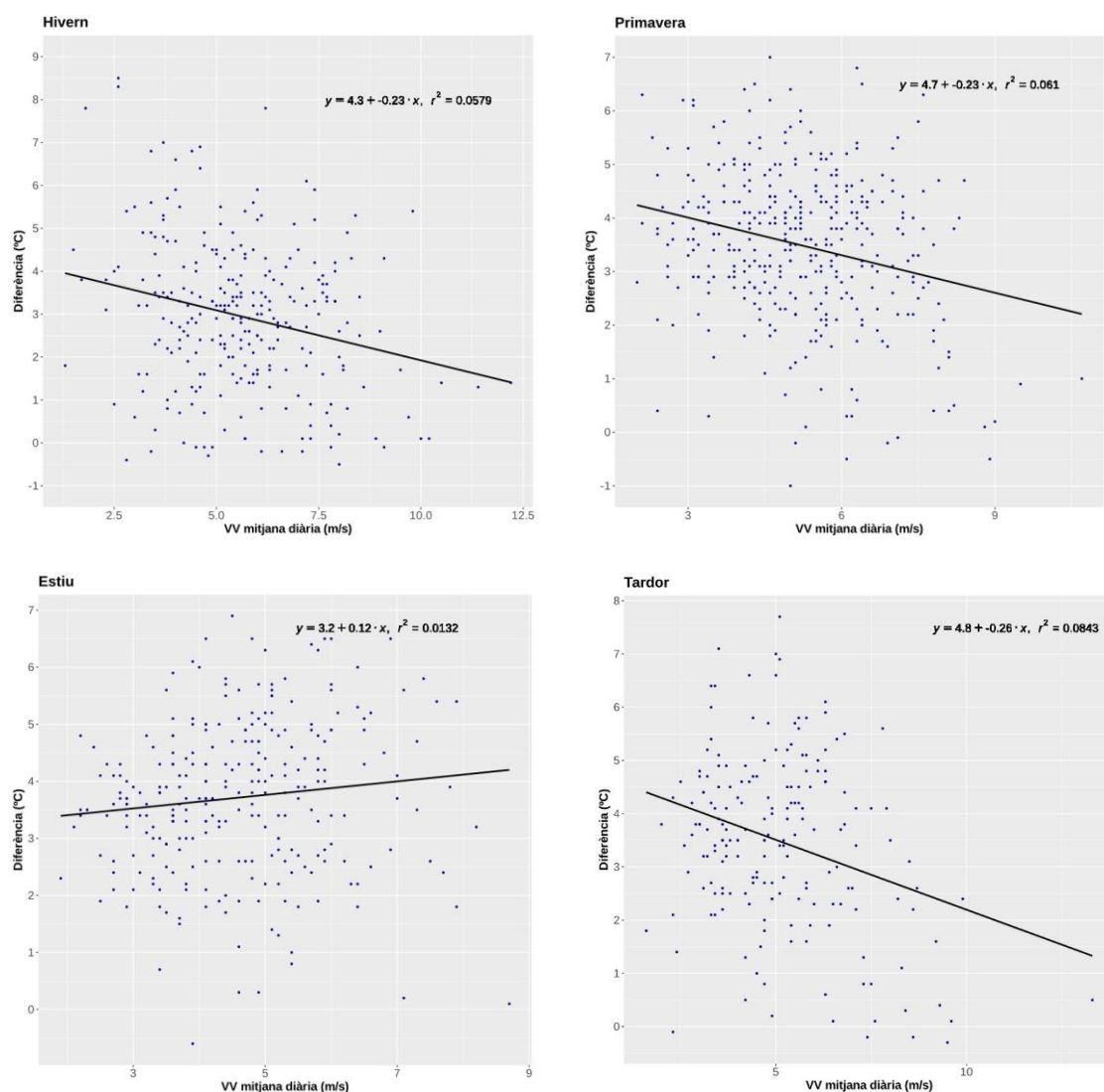


FIG. 7: Diagrama de dispersió corresponent a la diferència de temperatura màxima (Fabra XMET – Fabra manual) i la velocitat del vent mitjana diària per les diferents estacions de l'any: hivern (desembre, gener i febrer), primavera (març, abril i maig), estiu (juny, juliol i agost) i tardor (setembre, octubre i novembre). Període d'estudi: 1996-2001.

E. Sobreestimació de la temperatura diürna i estacionalitat.

Un altre aspecte important, a l'hora de caracteritzar la sobreestimació de la temperatura diürna, és determinar si hi ha diferències estacionals. S'ha fet ús de diagrames de caixa ja que donen força informació de caire estadístic (mediana, quartils, presència o no de valors atípics, rang de dades) i són de gran utilitat a l'hora d'analitzar les dades.

La Figura 8 mostra com es distribueixen les diferències de temperatura màxima diària entre Fabra XMET i Fabra manual al llarg dels diferents mesos de l'any, pel període 1996-2001. A primer cop d'ull, s'identifica que el comportament varia a escala mensual. Durant els mesos d'estiu la mediana és més elevada que a qualsevol altra època de l'any, situant-se entre 3,5°C i 4,0°C, aproximadament. És a dir, que el 50% dels dies d'estiu el grau de discrepància entre ambdues sèries era igual o superior a aquest llinar (Taula III annex).

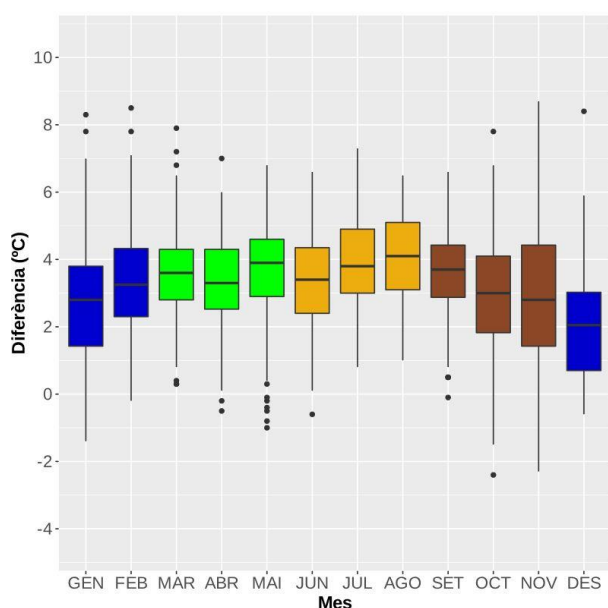


FIG. 8: Diferències de temperatura màxima diària entre Fabra XMET i Fabra manual, desglossats pels diferents mesos de l'any. Període d'estudi 1996-2001 (pre migració).

A la tardor i a l'hivern s'identifica una disminució progressiva de la mediana, així com del conjunt de quartils, però en canvi és quan s'assoleixen els valors més extrems. En alguns casos s'observen diferències de més de 8°C, específicament concentrats entre els mesos de novembre i febrer.

La immensa majoria dels valors es troben per sobre dels 0°C. Això indica que pràcticament tots els dies del període d'estudi, les màximes registrades per Fabra XMET eren superiors a les del Fabra manual. Excepcionalment, en episodis de pluja persistent o dies amb molt de vent, succeïa justament el contrari.

La Figura 9 és completament anàloga a la Figura 8, però amb les dades del període postmigració (2008-2019). En aquest cas, la distribució és molt més homogènia al llarg de l'any i costa molt observar diferències estacionals. Els valors de la mediana són molt pròxims a 0°C i el grau de discrepància entre ambdues estacions està molt acotat (Taula IV annex).

Pel que fa els valors més extrems, s'observen discrepàncies de poc més de 2°C, ajustant-se molt més als resultats obtinguts en d'altres estudis similars (Brunet et al 2004, Ibarra et al 2010).

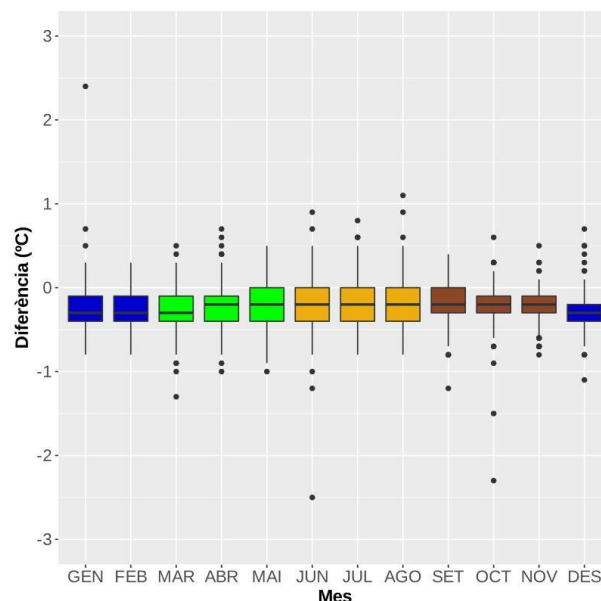


FIG. 9: Diferències de temperatura màxima diària entre Fabra XMET i Fabra manual, desglossats pels diferents mesos de l'any. Període d'estudi 2008-2019 (postmigració).

F. Histogrames de freqüència

Mitjançant els histogrames de freqüència es pot observar com s'han distribuït les diferències de temperatura màxima diària entre Fabra XMET i Fabra manual.

La Figura 10 mostra l'histograma corresponent al període 1996-2001 (abans de la migració). D'entrada, s'observa que més del 90% dels dies, l'estació de la XMET registrava valors més elevats que l'estació manual.

L'interval que presenta una freqüència relativa més elevada és el de 3-3,9°C, amb un percentatge del 24,3%. El segueix de ben a prop l'interval de 2-2,9°C (23,5%) i el de 4-4,9°C (18,2%). La suma d'aquests 3 intervals [2,0-4,9°C] suposa una mica més del 65% dels dies! Això denota que la sobreestimació de temperatura diürna era un problema molt habitual, d'una gran intensitat i que no només es delimitava a episodis concrets (de poc vent i molta irradiació solar global), sinó que també es manifestava en dies amb unes condicions meteorològiques no tan evidents.

La Figura 11 conté l'histograma corresponent al període postmigració (2008-2019). Gairebé totes les diferències de temperatura màxima diària entre Fabra XMET i Fabra manual, estan acotades entre -1 i 1°C (representa més del 99% de les dades d'aquest període). Esporàdicament, hi ha alguns dies on la diferència és una mica més gran, però únicament representa l'1% restant.

Durant el període postmigració ambdues estacions pràcticament no divergeixen. Les diferències de temperatura màxima són de l'ordre d'unes poques dècimes, mentre que pel període 1996-2001 aquestes eren de diversos graus centígrads!

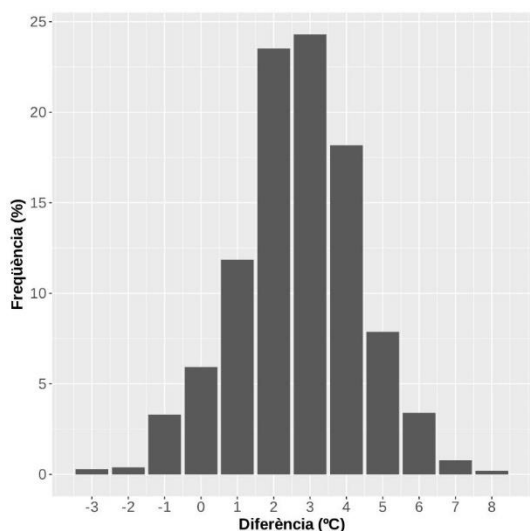


FIG. 10: Histograma corresponent a les diferències de temperatura màxima diària entre Fabra XMET i Fabra manual. Període d'estudi: 1996-2001 (premigració).

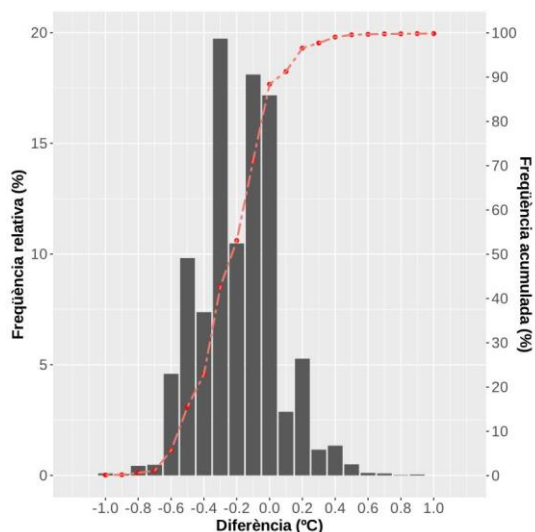


FIG. 11: Histograma corresponent a les diferències de temperatura màxima diària entre Fabra XMET i Fabra manual. Període d'estudi: 2008-2019 (postmigració).

A la Figura 12 hi ha superposades les corbes de freqüència acumulada corresponent a les diferències de temperatura màxima diària entre Fabra XMET i Fabra manual. La corba de color vermell pertany al període 1996-2001, mentre que la corba de color gris correspon al període 2008-2019.

Quan la diferència de temperatura màxima es manté per sota de -1°C , la freqüència acumulada no arriba a l'1% en cap dels dos casos. Però per diferències de fins a 0°C , la freqüència acumulada és de l'ordre del 5% pel període premigració, i del 90% pel període postmigració. Justament és en aquest punt on el canvi de comportament entre ambdues corbes és més evident. Pel període 2008-2019 s'observa un creixement ràpid i sobtat, mentre que pel període 1996-2001 ho fa d'una forma molt més progressiva i gradual.

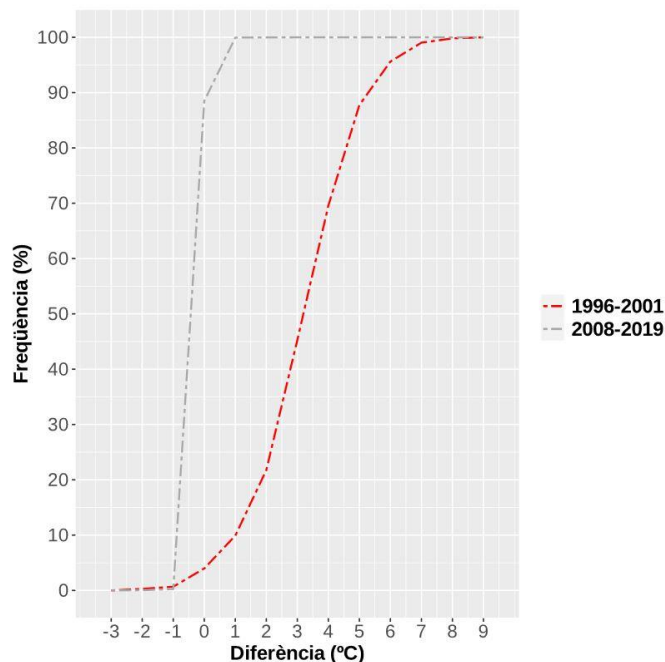


FIG. 12: Corbes de freqüència acumulada corresponents a les diferències de temperatura màxima diària entre Fabra XMET i Fabra manual.

IV CONCLUSIONS

Per mitjà d'aquest estudi s'ha pogut constatar que:

- 33 de les 45 estacions XMET analitzades, presenten una sobreestimació de la temperatura diürna, associada al canvi d'abric tèrmic de mitjans de l'any 2007.
- 19 de les 45 estacions XMET analitzades, també presenten una sobreestimació de la temperatura nocturna.
- No totes les estacions de la XMET sobreestimaven la temperatura de la mateixa manera. En alguns casos, la migració cap a Campbell no es correspon amb un punt de ruptura de la sèrie de temperatura.
- El canvi d'abric tèrmic suposa un punt d'inflexió en la qualitat de les dades de les estacions de la XMET. Aquesta actuació va posar fi al problema de la sobreestimació de la temperatura.

En relació a l'estudi comparatiu entre Fabra XMET i Fabra manual, s'ha observat que:

- Al llarg de l'any hi ha una certa correlació positiva entre la sobreestimació de la temperatura diürna i els valors de la irradiació solar global diària. Tot i així, també depèn d'altres factors, com ara la intensitat del vent.
- En general, hi ha una feble correlació negativa entre la sobreestimació de la temperatura diürna i la velocitat mitjana diària del vent. Curiosament, a l'estiu succeeix el contrari, ja que és l'època de l'any en què predomina el règim de marinada. La

temperatura màxima s'assoleix abans de l'entrada de la brisa (forta sobreestimació de temperatura) i després es reforça la intensitat del vent.

- A l'hivern la sobreestimació de temperatura presenta, de mediana, valors més baixos que a l'estiu. Malgrat això, és durant la tardor i l'hivern quan hi ha més amplitud i s'assoleixen els valors més extrems.
- El 99% dels dies del període 2008-2019, les diferències de temperatura màxima entre Fabra XMET i Fabra manual difereixen en menys d'1°C. En canvi, pel període 1996-2001 aquestes diferències són molt més grans i, puntualment, sobrepassen els 8°C.

De cara a futurs estudis, seria interessant analitzar la sobreestimació de la temperatura diürna a partir de les dades de període (bé sigui en base horària o minutal), en lloc de fer servir valors mitjans diaris. Això permetria elaborar una proposta de correcció d'aquestes dades, mitjançant el coneixement que s'ha adquirit prèviament.

Finalment, remarcar que la sobreestimació de la temperatura a les estacions de l'antiga XMET és un problema real que està pendent de ser abordat i corregit. Garantir un bon control de qualitat d'aquestes dades és el pas previ per tal de millorar el coneixement climàtic del territori.

V AGRAÏMENTS

En primer lloc, vull agrair l'atenció i assessorament rebut per part dels tutors d'aquest treball: Bernat Codina (UB) i Aleix Serra (SMC).

També, vull donar les gràcies al Servei Meteorològic de Catalunya per proporcionar-me tot el material necessari per tal de dur a terme aquest estudi. Especialment, al Miquel Perpinyà, Roger Vendrell, Eugeni Lozano, Josep Maria Medina i Anna Rius.

Agrair al Peter Domonkos, autor del programa que detecta les inhomogeneïtats (Acmant), la seva disponibilitat a l'hora de resoldre'm els dubtes que m'anaven sorgint.

I per últim, un reconeixement als amics i familiars pel suport que he rebut al llarg d'aquests mesos.

VI REFERÈNCIES

Bañón M, Brunet M, Sigró J, Aguilar E, García F, Palenzuela JE i Asín J, 2008: Comparación de las temperaturas obtenidas en las garitas Montsouris y Stevenson. Resultados provisionales del Proyecto Screen. Asociación Meteorológica Española.

Brunet M, Bañón M, García F, Aguilar E, Saladié O, Sigró J, Asín J i López D, 2004: Una aproximación experimental tendente a la minimización del sesgo artificial asociado al tipo de garita meteorológica a través de la observación dual de la temperatura del aire.

Cuadrat JM, Serrano R, Saz MA, Tejedor E, Prohom M, Cunillera J, Esteban P, Soubeyroux JM i Deaux N, 2013: Creación de una base de datos homogeneizada de

temperaturas para los pirineos (1950-2010). *Geographica*, 63-64, 63-74.

Domonkos P, 2020: ACMANT v4: Scientific content and operation of the software.

Domonkos P, 2011: Adapted Caussinus- Mestre algorithm for networks of temperature series (ACMANT). *International Journal of Geosciences*, 2, 293-309.

ISO 17714, 2007: Meteorology- Air temperature measurements- Test methods for comparing the performance of thermometer shields/screens and defining important characteristics.

Ibarra E, Azorín-Molina C, Bañón M, Olcina J, Estrela MJ, Gil A, 2010: Intercomparación de las temperaturas extremas en tres tipos de garitas meteorológicas: Montsouris, Stevenson y Young.

Peterson T.C, Easterling D, Karl T, Groisman P, Nicholls N, Plummer N, Torok S, Auer I, Boehm R, Gullet D, Vincent L, Heino R, Tuomenvirta H, Mestre O, Szentimrey T, Salinger J, Forland E, Hanssen-Bauer I, Alexandersson H, Jones P, Parker D, 1998: Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data. *Int. J. Climatol.* 18 1493-1517

Redaño A, Cruz J i Lorente J, 1991: Main features of the sea-breeze in Barcelona. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 46, pp. 175-179.

Servei Meteorològic de Catalunya, 2011: Les Estacions Meteorològiques Automàtiques (EMA).

Servei Meteorològic de Catalunya, 2011: Valoració de la sobreestimació de la temperatura diürna a les estacions XMET (1995-2007).

Servei Meteorològic de Catalunya, 2019: 2 anys de comparativa entre la garita meteorològica de Metspec amb les garites i abrics utilitzats per l'SMC.

Servei Meteorològic de Catalunya, 2020: Evolució de la mesura de la temperatura a la XEMA.

Toreti A, Kuglitsch FG, Xoplaki E, Della-Marta PM, Aguilar E, Prohom M i Luterbacher J, 2011: A note on the use of the standard normal homogeneity test to detect inhomogeneities in climatic time series. *International Journal of Climatology*, 31, 630-632.

UNE 500520, 2002: Redes de estaciones meteorológicas automáticas. Criterios de localización de emplazamiento e instalación de sensores. Características de adquisición y muestro.

Vendrell R, 2007: Problemàtiques i tecnologies emprades en les Estacions Meteorològiques Automàtiques (cas pràctic)

World Meteorological Organization, 2018: Guide to Instruments and Methods of Observation.

VII ANNEXOS

A. Imatges dels diferents tipus d'abric tèrmic



FIG. I: Abric tèrmic de platets de MCV instal·lat a Roses.

Imatge: Desembre, 2002

Font: Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)



FIG. II: Abric tèrmic de la marca Thies, instal·lat a Vilanova de Meià.

Imatge: Desembre, 2003

Font: Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)



FIG. III: Abric tèrmic de la marca YOUNG. Model 43408 instal·lat a Castell d'Aro.

Imatge: Desembre, 2002

Font: Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)



FIG. IV: Abric tèrmic de platets de l'empresa Vaisala instal·lat a Guardiola de Berguedà.

Imatge: Novembre, 2020

Font: Pròpia

B. Llistat estacions XMET

Taula I: Relació de les 59 estacions XMET. La instrumentació que apareix referenciada és la corresponent a la data d'inci de cada estació. L'asterisc indica que l'enregistrador que hi havia inicialment es va canviar abans de la migració cap a Campbell (any 2007).

CODI	EMA	Inici de la sèrie	Data migració	Fi de la sèrie	Tipus d'abric	Tipus sensor	Enregistrador
C6	Castellnou de Seana	17/12/1995	27/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
C7	Tàrrrega	06/11/1995	07/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
C8	Cervera	27/10/1995	27/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
C9	Mas de Barberans – Abocador	11/04/1997	12/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CA	Clariana de Cardener	02/05/1996	25/06/2007	10/07/2012	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CC	Orís	15/11/1995	28/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CD	la Seu d'Urgell- Bellestar	16/01/1996	26/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CE	els Hostalets de Pierola	01/04/1996	13/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CG	Molló- Fabert	07/06/1996	06/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100(*)
CI	Sant Pau de Segúries	24/11/1995	03/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CJ	Organyà	16/01/1996	14/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CL	Sant Salvador de Guardiola	02/02/1996	17/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CP	Sant Romà d'Abella	20/05/1996	19/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CQ	Vilanova de Meià	01/04/1996	19/06/2007	Operativa	Thies	Thies	ADASA V 1.0
CR	la Quar	13/03/1996	17/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CT	el Pont de Suert	15/02/1996	05/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CU	Vielha	15/02/1996	23/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100(*)
CV	la Pobla de Segur	23/12/1995	04/07/2007	18/11/2016	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CW	l'Espluga de Francolí	28/02/1996	02/07/2007	Operativa	Thies	Thies	ADASA V 1.0
CY	Muntanyola	12/01/1996	28/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CZ	Ulldemolins - Zona Esportiva	04/03/1996	10/07/2007	15/04/2008	Sense dades	Sense dades	Sense dades
D1	Margalef	14/01/1996	10/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
D2	Vacarisses	16/02/1996	11/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
D3	Vallirana	28/10/1995	20/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
D4	Roses	07/02/1996	30/07/2007	Operativa	Thies	Thies	ADASA V 1.0(*)
D5	Barcelona - Observatori Fabra	03/11/1995	01/08/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
D6	Portbou	25/03/1998	29/03/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
D7	Vinebre	19/03/1998	11/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
D8	Horta de Sant Joan	19/03/1998	11/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
D9	el Vendrell	11/06/1999	09/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DB	el Perelló	20/03/1998	03/05/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DC	Olot- Pla de Baix	25/04/1998	18/07/2007	21/07/2016	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DD	Vilassar de Mar	05/05/1998	25/07/2007	16/01/2015	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DF	la Bisbal d'Empordà	25/03/1998	21/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DG	Núria (1,971 m)	15/05/1998	19/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DI	Font-rubí	17/07/1998	09/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DJ	Banyoles	12/10/1999	26/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DK	Torredembarra	24/11/1999	12/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DL	Illa de Buda	23/08/1999	12/07/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DM	Girona – Bombers	10/05/2001	06/06/2007	15/09/2010	YOUNG: mod. 43408	Pt-100 MCV	MCV EM200
DN	Anglès	10/05/2001	26/06/2007	Operativa	YOUNG: mod. 43408	Pt-100 MCV	MCV EM200
DO	Castell d'Aro	10/05/2001	09/03/2007	Operativa	YOUNG: mod. 43408	Pt-100 MCV	MCV EM200
DP	Das - aeròdrom	22/05/2001	18/07/2007	Operativa	YOUNG: mod. 43408	Pt-100 MCV	MCV EM200
DQ	Vila-rodona	29/07/2005	02/07/2007	Operativa	Sense dades	Sense dades	Sense dades
H1	Òdena	31/05/1999	06/06/2007	Operativa	MCV:de platets	Pt-100 MCV	ADASA V 1.4
R1	el Pont de Vilomara	04/03/2000	20/07/2007	01/11/2019	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
CB	les Llosses	30/11/1995	Desmantellada	02/06/2003	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CF	Lloret de Mar	05/02/1996	Desmantellada	16/06/2003	Thies	Thies	ADASA V 1.0
CH	Falset	01/12/1995	Desmantellada	05/07/2005	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CK	Santa Coloma de Farners	05/02/1996	Desmantellada	08/06/2004	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CM	Montmeló	23/01/1996	Desmantellada	22/03/2006	Thies	Thies	ADASA V 1.0
CN	Guardiola de Berguedà-Escola	20/02/1996	Desmantellada	21/03/2005	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CO	Torres de Segre	23/11/1995	Desmantellada	25/05/2006	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CS	Viladrau-centre	05/12/1995	Desmantellada	08/06/2004	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
CX	Vic-1	18/01/1996	Desmantellada	01/01/2003	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100
DE	Botarell	16/01/1998	Desmantellada	16/01/2007	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DH	Badalona - Mas Ram	23/03/1998	Desmantellada	08/09/2005	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
DA	Vila-rodona-Escola	23/01/1998	Desmantellada	28/07/2005	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM200
AN	Barcelona-Av. Lluís Companys	11/05/1992	Desmantellada	29/10/2002	MCV:de platets	Pt-100 MCV	MCV EM100(*)

C. Grups d'estacions

Taula II: Informació relativa als diferents grups d'estacions creats per a cadascuna de les 45 estacions XMET analitzades. En alguns casos s'ha considerat oportú fer grups de menys de 4 estacions, ja sigui perquè hi ha una sèrie de referència molt representativa i propera (per exemple: Fabra XMET i Fabra manual) o bé perquè no era possible trobar-ne d'altres que fossin climàticament molt semblants i amb més de 10 anys de dades (per exemple: Sant Romà d'Abella, Organyà o la Pobla de Segur).

Grup	Codi	Nom Estació	Comarca	Tipus Estació	Període
Grup 1	D5	Barcelona - Observatori Fabra	Barcelonès	XMET	1996-2019
	BN007	Observatori Fabra	Barcelonès	Manual	
Grup 2	DD	Vilassar de Mar	Maresme	XMET	1998-2015
	UP	Cabrils	Maresme	XAC	
	MA014	El Masnou - Port Esportiu	Maresme	Manual	
	MA061	Vilassar de Dalt (EMA)	Maresme	Manual	
	MA022	Vilassar de Mar	Maresme	Manual	
	MA048	Arenys de Mar	Maresme	Manual	
Grup 3	C9	Mas de Barberans	Montsià	XMET	1997-2019
	UV	Mas de Barberans-Mitanplana	Montsià	XAC	
	UX	Ulldecona-els Valentins	Montsià	XAC	
	U7	Aldover	Montsià	XAC	
	BB017	Observatori de l'Ebre	Montsià	Manual	
Grup 4	C8	Cervera	Segarra	XMET	1995-2019
	SG013	Cervera - Parc de Bombers	Segarra	Manual	
	SG006	Torrefeta	Segarra	Manual	
	VD	el Canós	Segarra	XAC	
Grup 5	C7	Tàrraga	Urgell	XMET	1995-2019
	UG015	Tàrraga- Parc de Bombers	Urgell	Manual	
	VD	el Canós	Segarra	XAC	
	UG020	Ciutadilla	Urgell	Manual	
	WL	Sant Martí de Riucorb	Urgell	XAC	
Grup 6	C6	Castellnou de Seana	Pla d'Urgell	XMET	1995-2019
	WC	Golmés	Pla d'Urgell	XAC	
	PU020	Ivars d'Urgell	Pla d'Urgell	Manual	
	PU009	el Palau d'Anglesola	Pla d'Urgell	Manual	
	V8	el Poal	Pla d'Urgell	XAC	
Grup 7	D7	Vinebre	Ribera d'Ebre	XMET	1998-2019
	RE004	Flix- Fàbrica Ercros	Ribera d'Ebre	Manual	
	VA	Ascó	Ribera d'Ebre	XAC	
	RE007	Ascó	Ribera d'Ebre	Manual	
	RE034	Móra la Nova - c. Major	Ribera d'Ebre	Manual	
Grup 8	CI	Sant Pau de Segúries	Ripollès	XMET	1995-2019
	RI040	Sant Pau de Segúries	Ripollès	Manual	
	RI041	Sant Pau de Segúries - Era de Baix (EMA)	Ripollès	Manual	
	GX017	la Vall de Bianya	Ripollès	Manual	
Grup 9	DN	Anglès	Selva	XMET	2001-2019
	SV048	Aeroport de Girona - Costa Brava	Selva	Manual	
	SV017	Santa Coloma de Farners	Selva	Manual	
	VN	Vilobí d'Onyar	Selva	XAC	
Grup 10	D2	Vacarisses	Vallès Occidental	XMET	1996-2019
	VU	Rellinars	Vallès Occidental	XAC	
	BL021	Esparreguera	Baix Llobregat	Manual	
	BL014	Olesa de Montserrat	Baix Llobregat	Manual	
Grup 11	DC	Olot - Pla de Baix	Garrotxa	XMET	1998-2016
	GX016	Olot- el Parc Nou	Garrotxa	Manual	
	W9	la Vall d'en Bas	Garrotxa	XAC	
	GX009	la Vall d'en Bas	Garrotxa	Manual	
Grup 12	DK	Torredembarra	Tarragonès	XMET	1999-2019
	TG020	Tamarit	Tarragonès	Manual	
	BP009	Coma-ruga	Baix Penedès	Manual	

	BP013	Cunit	Baix Penedès	Manual	
	WZ	Cunit	Baix Penedès	XAC	
Grup 13	D4	Roses	Alt Empordà	XMET	1996-2019
	AE060	Palau-saverdera	Alt Empordà	Manual	
	AE050	Roses	Alt Empordà	Manual	
	AE053	el Port de la Selva	Alt Empordà	Manual	
	AE011	PN dels Aiguamolls de l'Empordà	Alt Empordà	Manual	
Grup 14	DQ	Vila-rodona	Alt Camp	XMET	2005-2019
	VY	Nulles	Alt Camp	XAC	
	AC010	Valls	Alt Camp	Manual	
	AC015	Alcover - Camí del Remei	Alt Camp	Manual	
Grup 15	D6	Portbou	Alt Empordà	XMET	1998-2019
	AE053	el Port de la Selva	Alt Empordà	Manual	
	RO008	Banyuls de la Marenda	Catalunya Nord	Manual	
	RO005	Cap de Biarra	Catalunya Nord	Manual	
Grup 16	CW	l'Espluga de Francolí	Conca de Barberà	XMET	1996-2019
	CB011	Montblanc	Conca de Barberà	Manual	
	W8	Blancafort	Conca de Barberà	XAC	
	CB017	Sarral - 2	Conca de Barberà	Manual	
Grup 17	DI	Font-rubí	Alt Penedès	XMET	1998-2019
	WP	Canaletes	Alt Penedès	XAC	
	AP030	Pontons (EMA)	Alt Penedès	Manual	
	UH	el Montmell	Baix Penedès	XAC	
Grup 18	D9	el Vendrell	Baix Penedès	XMET	1999-2019
	BP006	el Vendrell - Parc de Bombers	Baix Penedès	Manual	
	WO	la Bisbal del Penedès	Baix Penedès	XAC	
Grup 19	DL	Illa de Buda	Montsià	XMET	1999-2019
	BB021	Parc Natural del Delta de l'Ebre	Baix Ebre	Manual	
	MO024	Sant Jaume d'Enveja (EMA)	Montsià	Manual	
	UU	Amposta	Montsià	XAC	
	UW	els Alfacs	Montsià	XAC	
Grup 20	CY	Muntanyola	Osona	XMET	1996-2019
	MI006	Moià - EEPP	Moianès	Manual	
	OS082	Olost	Osona	Manual	
	MI010	Castellterçol	Moianès	Manual	
Grup 21	CA	Clarana de Cardener	Solsonès	XMET	1996-2012
	VO	Lladurs	Solsonès	XAC	
	VP	Pinós	Solsonès	XAC	
	U4	Castellnou de Bages	Bages	XAC	
	SO005	Riner - Xixons	Solsonès	Manual	
	BA060	Cardona	Bages	Manual	
Grup 22	CR	la Quar	Berguedà	XMET	1996-2019
	V5	Perafita	Osona	XAC	
	BG018	Berga - IES Guillem de Berguedà	Berguedà	Manual	
	BG034	Berga - IES Guillem de Berguedà (EMA)	Berguedà	Manual	
	OS005	Prats de Lluçanès	Osona	Manual	
	OS006	Prats de Lluçanès (EMA)	Osona	Manual	
Grup 23	CU	Vielha	Val d'Aran	XMET	1996-2019
	AG002	Luchon	Catalunya nord	Manual	
	VA008	Arties (EMA)	Val d'Aran	Manual	
	VA017	Centrau de Bossòst (EMA)	Val d'Aran	Manual	
Grup 24	CQ	Vilanova de Meià	Noguera	XMET	1996-2019
	UY	Os de Balaguer - el Monestir d'Avellanès	Noguera	XAC	
	VO	Lladurs	Solsonès	XAC	
	X6	Baldomar	Noguera	XAC	
Grup 25	D8	Horta de Sant Joan	Terra Alta	XMET	1998-2019
	TA006	Horta de Sant Joan (EMA)	Terra Alta	Manual	
	TA005	Horta de Sant Joan - Els Olivers	Terra Alta	Manual	
Grup 26	CE	els Hostalets de Pierola	Anoia	XMET	1996-2019
	BL021	Esparreguera	Baix Llobregat	Manual	
	BL014	Olesa de Montserrat	Baix Llobregat	Manual	
	WP	Canaletes	Alt Penedès	XAC	
Grup 27	CL	Sant Salvador de Guardiola	Bages	XMET	1996-2019
	BA039	Manresa	Bages	Manual	
	VU	Rellinars	Vallès Occidental	XAC	
Grup 28	DB	el Perelló	Baix Ebre	XMET	1998-2019
	BB003	el Perelló - 3	Baix Ebre	Manual	
	U9	l'Aldea	Baix Ebre	XAC	

	UA	l'Ametlla de Mar	Baix Ebre	XAC	
Grup 29	R1	el Pont de Vilomara	Bages	XMET	2000-2019
	BA039	Manresa	Bages	Manual	
	U4	Castellnou de Bages	Bages	XAC	
	WW	Artés	Bages	XAC	
Grup 30	DF	la Bisbal d'Empordà	Baix Empordà	XMET	1998-2019
	BE031	la Bisbal d'Empordà	Baix Empordà	Manual	
	UC	Monells	Baix Empordà	XAC	
Grup 31	DO	Castell d'Aro	Baix Empordà	XMET	2001-2019
	BE010	Castell-Platja d'Aro - Depuradora	Baix Empordà	Manual	
	BE056	Castell-Platja d'Aro - Depuradora (EMA)	Baix Empordà	Manual	
	BE054	Calonge	Baix Empordà	Manual	
	BE059	Esclanyà	Baix Empordà	Manual	
Grup 32	D3	Vallirana	Baix Llobregat	XMET	1995-2019
	BL004	Begues - 4	Baix Llobregat	Manual	
	AP014	Olesa de Bonesvalls	Alt Penedès	Manual	
Grup 33	CC	Orís	Osona	XMET	1995-2019
	V4	Montesquiu	Osona	XAC	
	OS026	Torelló	Osona	Manual	
	OS075	Borgonyà	Osona	Manual	
Grup 34	CJ	Organyà	Alt Urgell	XMET	1996-2019
	W5	Oliana	Alt Urgell	XAC	
Grup 35	H1	Òdena	Anoia	XMET	1999-2019
	AN021	Igualada	Anoia	Manual	
	WP	Canaletes	Alt Penedès	XAC	
Grup 36	DP	Das - Aeròdrom	Cerdanya	XMET	2001-2019
	CE008	Puigcerdà	Cerdanya	Manual	
	WV	Guardiola de Berguedà	Berguedà	XAC	
	AY008	Vallsabollera	Catalunya nord	Manual	
	AY009	Porte Puymorens	Catalunya nord	Manual	
Grup 37	CD	la Seu d'Urgell - Bellestar	Alt Urgell	XMET	1996-2019
	AU011	la Seu d'Urgell	Alt Urgell	Manual	
	AU012	la Seu d'Urgell - Parc del Segre (EMA)	Alt Urgell	Manual	
	W5	Oliana	Alt Urgell	XAC	
Grup 38	D1	Margalef	Priorat	XMET	1996-2019
	PR011	Cabacés	Priorat	Manual	
	PR018	Cabacés (EMA)	Priorat	Manual	
Grup 39	DJ	Banyoles	Pla de l'Estany	XMET	1999-2019
	PE008	Fontcoberta - Melianta	Pla de l'Estany	Manual	
	PE013	Banyoles - Mata	Pla de l'Estany	Manual	
	GX030	Maià de Montcal	Garrotxa	Manual	
Grup 40	CZ	Ulldemolins - Zona Esportiva	Priorat	XMET	1996-2019
	GA017	la Pobla de Cérvoles	Garrigues	Manual	
	XD	Ulldemolins	Priorat	XAC	
Grup 41	CG	Molló - Fabert	Ripollès	XMET	1996-2019
	UI	Gisclareny	Berguedà	XAC	
	VP005	Coll d'Ares	Catalunya nord	Manual	
	RI038	Beget	Ripollès	Manual	
Grup 42	DG	Núria (1.971 m)	Ripollès	XMET	1998-2019
	RI017	Santuari de Núria (1.971m)	Ripollès	Manual	
	RI003	Estació d'esquí de Vallter 2000	Ripollès	Manual	
	Z4	Ulldeter (2.364 m)	Ripollès	XANIC	
	UI	Gisclareny	Berguedà	XAC	
Grup 43	CP	Sant Romà d'Abella	Pallars Jussà	XMET	1996-2019
	W5	Oliana	Alt Urgell	XAC	
Grup 44	CV	la Pobla de Segur - Bombers	Pallars Jussà	XMET	1995-2019
	PJ002	Sant Martí de Canals	Pallars Jussà	Manual	
	W5	Oliana	Alt Urgell	XAC	
Grup 45	CT	el Pont de Suert	Alta Ribagorça	XMET	1996-2019
	AG002	Luchon	Catalunya nord	Manual	
	AG006	Saint-Paul-d'Oueil	Catalunya nord	Manual	

D. Taules associades als diagrames de caixes

Taula III: Distribució mensual i de tipus estadístic de les diferències de temperatura màxima diària (°C) entre Fabra XMET i Fabra manual, pel període d'estudi 1996-2001 (premigració).

1996/2001	GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL	AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE
Quartil 1	1,4	2,3	2,8	2,5	2,9	2,4	3,0	3,1	2,9	1,8	1,4	0,7
Quartil 2	2,8	3,3	3,6	3,3	3,9	3,4	3,8	4,1	3,7	3,0	2,8	2,1
Quartil 3	3,8	4,3	4,3	4,3	4,6	4,4	4,9	5,1	4,4	4,1	4,4	3,0
Valor Màxim	8,3	8,5	7,9	7,0	6,8	6,6	7,3	6,5	6,6	7,8	8,7	8,4
Valor Mínim	-1,4	-0,2	0,3	-0,5	-1,0	-0,6	0,8	1,0	-0,1	-2,4	-2,3	-0,6
Amplitud	9,7	8,7	7,6	7,5	7,8	7,2	6,5	5,5	6,7	10,2	11,0	9,0

Taula IV: Distribució mensual i de tipus estadístic de les diferències de temperatura màxima diària (°C) entre Fabra XMET i Fabra manual, pel període 2008-2019 (postmigració).

2008/2019	GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL	AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE
Quartil 1	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4
Quartil 2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3
Quartil 3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,2
Valor Màxim	2,4	0,3	0,5	0,7	0,5	0,9	0,8	1,1	0,4	0,6	0,5	0,7
Valor Mínim	-0,8	-0,8	-1,3	-1,0	-1,0	-2,5	-0,8	-0,8	-1,2	-2,3	-0,8	-1,1
Amplitud	3,2	1,1	1,8	1,7	1,5	3,4	1,6	1,9	1,6	2,9	1,3	1,8